

## GENETİK YAPISI DEĞİŞTİRİLMİŞ ORGANİZMALAR: I. BİTKİLER

Ayten DEMİR Fatih SEYİS Orhan KURT  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Samsun

Geliş Tarihi :19.08.2005

**ÖZET:** Biyoteknolojideki gelişmeler sayesinde bir organizmadan, diğer organizmalara uygun genlerin aktarılması mümkün hale gelmiştir. Bu teknolojiyi mısır ve pamukta olduğu gibi zararlılara dayanıklı ve soyada olduğu gibi herbisitlere dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi için kullanılmıştır. Fakat bugün bu teknoloji, bitki ve hayvanları çok farklı amaçlar yönünde değiştirmek ve geliştirmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmaların sonuçları özellikle son yıllarda yoğun olarak tartışılmaktadır. Bu makalede biyoteknolojik bir yöntem olan gen teknolojisi ile bitkilerde yapılan değişiklikler ele alınacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Bitki, biyoteknoloji, genetik yapısı değiştirilmiş organizmalar

## GENETICALLY MODIFIED ORGANISMS: I. PLANTS

**ABSTRACT:** Transfer of suitable genes from one organism to other is possible due to developments in biotechnology. This technology was used for improvement of pathogen resistance in corn and cotton varieties and herbicide resistance in soybean varieties. However, nowadays this technology is used in changing and improvement of plant and animals for different purposes. The results of such investigations were discussed strongly during the last years. In this paper, transformations of plants via biotechnology will be discussed at different dimensions.

**Keywords:** Plant, biotechnology, genetically modified organism

### 1.GİRİŞ

Geleneksel bitki ıslahının amacı yeni özelliklere sahip bitkilerin elde edilmesi ve bunlar arasından istenen özelliklere sahip bitkilerin seçilmesidir. Bu amaca ulaşmak için istenen özellikleri taşıyan ebeveyn bitkiler birbirleriyle melezlenmekte ve elde edilen döllerin, ebeveynlerin özelliklerini birleştirilmiş şekilde taşıyıp taşımadığına bakılmaktadır. Fakat bu yöntem kullanıldığında; ebeveynlerden döllere istenilen özelliklerin yanında istenmeyen özellikler de aktarılmaktadır. Daha sonra istenmeyen özellikler geriye melezleme yoluyla elemine edilebilmektedir. Ancak bu durumda uzun bir zaman sürecine ihtiyaç vardır.

Son yıllarda, geleneksel ıslah metotları ile kombine edilmiş mutasyon, protoplast kültürü, besi ortamında tozlanma ve dölllenme, embriyo kültürü ve gen teknolojisi kullanılmaktadır. Özellikle gen teknolojisi metotlarının kullanımındaki fayda ve riskler üzerine farklı sosyal tabakalarda tartışmalar yapılmaktadır. Bu tartışmalar; a) Belirli bir genin kontrollü olarak aktarılması, geleneksel melezleme çalışmalarına göre genetik materyaller arasında beklenmedik olayların ortaya çıkmasına daha az ihtimalle sebebiyet vereceği, b) Alıcı bitkiye yabancı bir genin aktarılması sonucu bu bitkide bir toksinin oluşma ihtimalinin bulunduğu, c) Bu bitki kullanılarak elde edilen gıdaların tüketilmesi sonucu insanlarda ve diğer canlılarda gıda alerjilerinin olabileceği ve d) Suni olarak aktarılan bu genin yabancı bitkilere polen akışı nedeniyle geçebileceği ve bu yolla beklenmedik çevresel tehlikelerin ortaya çıkabileceği konusunda yoğunlaşmaktadır (Brandt, 1995).

Yeni teknoloji kullanımının ekonomisi ve toplum üzerine etkisini tartışmada veya insanın yapabileceği işlerin sınırlarını belirtmede herkes fikir beyan etmek için kendisini yeterli görebilir. Ancak bir genin ve

genetik bilginin bir bitkiye aktarıldığında nasıl bir sonucun ortaya çıkacağını tahmin edebilmek için konuya ilişkin belli bir bilgi birikimine sahip olmak gerekir. Fakat bu bilgi birikimi dikkate alınmadan tartışma grupları; transgenik bitkilerin kullanımı ile tarımda doğabilecek yeni imkanların vazgeçilmez olduğunu savunmakta (Gasser ve Fraley, 1992), doğayı sunileştirmenin insanlık suçu olduğunu ifade etmekte (Daele, 1987) ve aynı fikre sahip araştırmacıların bir araya gelip gelecekte kendilerinin yapacağı araştırmalara karşı toplumda oluşacak tepkilere karşı düşünce geliştirdikleri düşünüldükçe bilirkişi gruplarına güvenilemeyeceğini vurgulamaktadırlar. Bu araştırma ile dünyada yetiştirilen transgenik bitkiler ve bu bitkilerde meydana getirilen değişikliklerin tanıtılması amaçlanmaktadır.

### 2. GENETİK YAPISI DEĞİŞTİRİLMİŞ ORGANİZMALAR

Genetik mühendisliği yöntemleriyle bünyelerine yabancı genler dahil edilerek "genetik yapıları" değişikliğe uğratılan ve bu yabancı genleri genomlarına sabit olarak entegre eden ve bu özellikleri gösteren bitki, hayvan ve mikroorganizmalar, genetik yapısı değiştirilmiş organizma olarak adlandırılmaktadır (Ibelgauf, 1993).

Genetik yapısı değiştirilmiş organizmalar; a) Genetik Yapısı Değiştirilmiş Organizma (GDO), b) Değiştirilmiş Canlı Organizmalar (DCLMO) ve c) Genetik Olarak Modifiye Edilmiş Mahsüller (GM) olmak üzere değişik isimlerle isimlendirilirler.

Genetik yapısı değiştirilmiş organizmalar bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar olarak üç ana grupta incelenmektedir. Bu makalede sadece bitkiler üzerinde durulacaktır.

### 3.GENETİK YAPISI DEĞİŞTİRİLMİŞ BİTKİLER

Organizmaların moleküler yapı taşlarının (DNA) gen teknolojisi ile değiştirilmesi 1970'li yılların başında *E. coli* bakterisinin genomlarının klonlanması ile gerçekleşmiştir. Bitkisel üretimde, genetik mühendisliği yöntemleri kullanılarak gıda üretimi ilk defa 1960'lı yılların başında gerçekleştirilmiştir. 1967 yılında mevcutlara göre daha yüksek kuru madde ihtiva eden cips amaçlı kullanılabilen patates geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda mevcuttan daha iyisini elde etmeye yönelik olarak yapılan çalışmalar devam ederek; 1982 yılında rekombinant insülin piyasaya çıkarılmış (Hoffman, 1997). Gen transfer edilmiş bitkilerin tarla denemelerine ilk defa 1985 yılında başlanmıştır. Amerika Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), 1994 yılında, genetik mühendisliği ile üretilmiş ilk gıda olan Flavır Savr Domatesine onay vermiştir. Ticari anlamda bitkisel üretim ise 1996 yılında başlanmıştır. Bugün gen teknolojisi ile üretilen ürünlerin yaklaşık 80 tanesinin uluslararası ticarete dolaştığı, tüm satışların 2005 yılında 8 milyar dolara, 2010 yılında ise 25 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir

Daha iyi ürünler elde etmeye yönelik çalışmalarda birçok disiplinden yararlanma yoluna gidilmiştir. Nitekim 1902 yılında Japonya'da keşfedilen gram pozitif bir bakteri (*Bacillus thuringiensis*)'nin sahip olduğu bir genin (Bt) biyo-insektisit gibi bazı böceklerle karşı doğal olarak dayanıklılık sağladığı belirlenmiştir. Bu gen daha sonra kültür bitkilerine transfer edilerek, kültür bitkilerinin çeşitli böceklerle karşı dirençlerinin artırılması hedeflenmiştir. Bu tür uygulamaların insan, hayvan ve hedef dışı fauna üzerinde etkisiz olmalarına karşın sınırlı kalıcılıkları kullanımlarını kısıtlayan en önemli faktördür. Halen kullanılmakta olan biyo-insektisitlerin % 90'ını Bt genlerinin farklı versiyonlarından oluşmaktadır. Bugün Bt endotoksinleri toplam insektisit pazarının % 5'ini oluşturmaktadır (Öktem, 2001). Bt genlerinde olduğu gibi, bir başka organizmadan (*Streptomyces S. hyroscopicus*) izole edilen Bar genleri de bitkilerin herbisitlere karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Nitekim Bar genleri, aktarıldığı bitkiyi bazı herbisitlere karşı dayanıklı hale getirmektedir.

Genetik Yapısı Değiştirilmiş Bitkiler üzerine yapılan çalışmalardaki amaç bitkileri hastalık ve zararlılara dirençli, tarımsal üretim maliyetlerini azaltarak, elde edilecek ürünün görünüşünü, besin değerini, işleme veya muhafazaya ilişkin özelliklerini iyileştirmek suretiyle ürün kalitesini yükseltmektir.

#### 3.1. Genetik Yapısı Değiştirilmiş Bitkilerin Dünyadaki Durumu

1996 yılında 2.8 milyon hektar olan genetik yapısı değiştirilmiş bitkilerin ekim alanı 2004 yılında 81.0 milyon hektara ulaşmıştır. Genetik yapısı değiştirilmiş bitkilerin ekim alanındaki artış başlangıçta oldukça yüksek (1997 yılında % 357.1) olmasına karşılık son

yıllarda daha az (2004 yılında %16) olmuştur. 1996 yılından 2004 yılına kadar geçen 8 yıllık periyotta, genetik yapısı değiştirilmiş bitkilerin ekim alanı yaklaşık 27 kat artmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Dünyada transgenik bitkilerin ekim alanlarının değişimi

Yıl	Ekim Alanı (milyon ha)	Bir önceki yıla göre artış oranı (%)
1996	2.8	-
1997	12.8	357.1
1998	27.8	117.2
1999	39.9	43.5
2000	44.2	10.8
2001	52.6	19.0
2002	58.7	11.6
2003	67.7	13.0
2004	81.0	16.0

James, 2004

Transgenik bitkiler en fazla, bu ürünlerin geliştirildiği ABD'de ekilmektedir. Nitekim 2004 verilerine göre dünya transgenik bitki ekim alanının % 59' ABD, % 20'si Arjantin, % 6'sı Kanada, % 4'ü Çin ve geri kalanı diğer ülkeler tarafından karşılanmaktadır (Çizelge 2).

1996-2004 yılları arasında, Dünyada en fazla ekim alanına sahip 4 adet transgenik bitki sırasıyla, soya, mısır, pamuk ve kolza olup; patates, kabak, papaya, tütün ve domates çok az da olsa ekim alanına sahiptirler (Çizelge 3).

#### 3.2. Genetik Yapısı Değiştirilmiş Bitkilerin Türkiye'deki Durumu

Türkiye'de Transgenik Bitkilerle ilgili mevzuat hazırlığı çalışmalarına 31 Mart-1 Nisan 1998 tarihinde, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü bünyesinde organize edilen ve ilgili araştırma kuruluşları ve genel müdürlükler ile üniversitelerden temsilcilerin katılımıyla yapılan "Transgenik Bitkiler ve Güvenlik Önlemleri" konulu toplantı ile başlanmıştır. Toplantı sonucunda; Transgenik bitkilerin ve ürünlerin ülkemize girişlerinde ne gibi teknik uygulamaların yapılacağına ilişkin görüş ve raporların hazırlanmasına karar verilmiştir. Belirlenen ana esaslar çerçevesinde teknik uygulamalara temel teşkil edecek görüş ve raporlar oluşturulmuştur. Bu çalışmalara paralel olarak "Genetik Yapıları Değiştirilmiş Organizmaların Üretilmesi, Pazara Sürülmesi ve Gıda Olarak Kullanımı" ile ilgili mevzuat çalışmaları da son aşamasına gelmiştir.

Türkiye'de hazırlanan mevzuat kapsamında transgenik bitkilerin alan denemeleri, 1998 yılından itibaren, Tarım Bakanlığına bağlı Araştırma Enstitüleri tarafından yürütülmüştür. Transgenik bitkilerinin alan denemeleri ile ilgili herhangi bir aksaklığa meydan vermemek için, "Bitki Çeşitlerinin Tescil Edilmesine İlişkin Yönetmelikte" gerekli değişiklikler yapıncaya kadar, "Transgenik Kültür Bitkilerinin Alan Denemeleri" ile ilgili talimatın aksayan yönlerinin düzeltilmesi amacıyla adı geçen talimatta yapılan

değişiklikler 25. 03. 1999 tarihinde yürürlüğe girmiştir. 1999 yılında, Pamuk Araştırma Enstitüsü tarafından Nazilli’de ve Harran Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından Akçakale’de pamuk, Çukurova Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından Adana ‘da mısır ve pamuk ve Patates Araştırma Enstitüsü tarafından Niğde’de patates alan denemeleri başlamıştır. Bu ürünlerde risk analizi ve risk değerlendirmesi yapılabilmesi için gerekli gözlem ve ölçümler yapılmaktadır. Ayrıca gıda eşdeğerliliğinin tespit edilebilmesi için de gerekli analizler ilgili laboratuarda yapılacaktır. Denemelere alınan transgenik bitkilerde bulunan ilave özellikler, pamukta yabancı ot ilacına, pembe ve yeşil kurda dayanıklılık, mısırdan sap kurdu ve koçan kurduna dayanıklılık, patatesten ise patates böceğine dayanıklılıktır.

#### 4. BİTKİLERİN GEN TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK DEĞİŞTİRİLMESİ

##### 4.1. Gen Teknolojisi İle Değiştirilmiş Bitkiler

Kültür bitkilerinde geliştirilmesi düşünülen özelliklerin çoğu birçok genin interaksiyonu sonucu ortaya çıkmaktadır. Ancak bitkilerin gen teknolojisi kullanılarak değiştirilmesinde ağırlıklı olarak basit kalıtım takip eden özellikler üzerinde durulmaktadır. Bugüne kadar aralarında birçok kültür bitkisi olmak üzere 150 kadar türde gen teknolojisi kullanılmıştır (Menrad et al., 2003). Dünyada neredeyse gen teknolojisi kullanılarak değiştirilmeyen hiçbir kültür bitkisi kalmamıştır. Çizelge 4’de gen teknolojisi kullanılarak değiştirilen bazı bitkiler verilmiştir.

Çizelge 2. Transgenik bitkilerin ekim alanlarının ülkeler itibarıyla değişimi

ÜLKE	Ekim Alanı (Milyon Ha)								
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
A.B.D.	1.5	8.1	20.5	28.7	30.3	35.7	39.0	42.8	47.6
Arjantin	0.1	1.4	4.3	6.7	10.0	11.8	13.5	13.9	16.2
Kanada	0.1	1.3	2.8	4.0	3.0	3.2	3.5	4.4	5.4
Çin	1.1	1.8	0.1	0.3	0.5	1.5	2.1	2.8	3.7
Brezilya	-	-	-	-	-	-	-	3.0	5.0
Paraguay	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2
Avustralya	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.2
Hindistan	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	0.5
G. Afrika	-	-	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.5
Uruguay	-	-	-	-	<0.1	<0.1	0.3	<0.1	0.3
Meksika	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	0.1
İspanya	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Fransa	-	0.0	-	<0.1	<0.1	-	-	-	-
Portekiz	-	0.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-
Bulgaristan	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	-	-
Romanya	-	0.0	0.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Ukrayna	-	0.0	0.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	-
Endonezya	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	-	-
Kolombiya	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	-
Honduras	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	-
Filipinler	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	0.1
Almanya	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	-	-
<b>Toplam</b>	<b>2.8</b>	<b>12.8</b>	<b>27.8</b>	<b>39.9</b>	<b>44.2</b>	<b>52.6</b>	<b>58.7</b>	<b>67.6</b>	<b>81.0</b>

James, 2004

Çizelge 3. Ticari olarak üretilen transgenik bitkiler ekim alanlarının değişimi

Ürün	Ekim Alanı ( Milyon ha )								
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Soya	0.5	5.1	14.5	21.5	25.8	33.1	36.5	41.4	48.4
Mısır	0.3	3.2	8.3	11.1	10.3	9.8	12.4	15.5	19.3
Pamuk	0.8	1.4	2.5	3.7	5.3	6.8	6.8	7.2	9.0
Kolza	0.1	1.2	2.4	3.4	2.8	2.8	3.0	3.6	4.3
Patates	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	-	-	-
Kabak	-	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	-
Papaya	-	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	-
Tütün	1.0	1.6	-	-	-	-	-	-	-
Domates	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOPLAM</b>	<b>2.8</b>	<b>12.8</b>	<b>27.8</b>	<b>39.9</b>	<b>44.2</b>	<b>52.6</b>	<b>58.7</b>	<b>67.7</b>	<b>81.0</b>

James, 2004

Çizelge 4. Gen teknolojisi ile değiştirilmiş bazı bitkiler

Tarla Bitkileri	Meyve	Sebze	Süs Bitkileri
Arpa	Elma	Patlıcan	Krizantem
Darı	Muz	Karnibahar	Geranie
Mısır	Armut	Brokoli	Gerbera
Çeltik	Çilek	Chicoree	Karanfil
Çavdar	Ahududu	Bezelye	Pelargonie
Sorgum	Kiraz	Havuç	Petunya
Buğday	Kiwi	Patates	Nergis
Pamuk	Kavun	Lahana	K. yumağı
Y. pancar	Portakal	Marul	Gül
Y. turp	Papaya	Kabak	Menekşe
Yonca	Erik	Zeytin	Çim
Kolza	Y.Mersini	Domates	
Şalgam	Karpuz	T. patates	
Hardal	Üzüm		
S.fasulyesi	Kahve		
Tütün			
Ş. pancarı			
Ş. kamışı			

Kempken ve Kempken, 2004; RKL, 2001

#### 4.2. Transgenik Bitki Geliştiriminin Nedenleri

Binlerce yıldan beri insanlar bitkilerin genetik özelliklerini ıslah ile değiştirmişlerdir. Takip edilen bu yol oldukça başarılı olmuştur. Ancak bu yol, eşeysel uyumlu ve yakın akraba bitkilerin melezlenmesi esasına dayanmaktadır. Dolayısıyla bir süre öncesine kadar, farklı türler arasında özelliklerin aktarılması mümkün olmamıştır. Gen teknolojisi bu engeli ortadan kaldırmış ve araştırmacılara bitki genlerinde belirlenmiş değişiklikleri yapabileme fırsatı vermiştir. Araştırmacılar da bu fırsatı; artan dünya nüfusunu beslemek ve giydirmek için kültür bitkilerinin verimini ve kullanılabilirliğini artırmak yönünde kullanmaya çalışmışlardır (Nicholl, 1995).

Bitkilerin genetik olarak manipüle edilmesinde birçok bilim dalından yararlanılmaktadır. Ancak bitkilerde gen teknolojisini başarılı olarak

uygulanabilmesi için genleri bitkilere aktarabilecek uygun yöntemlere ve üzerinde çalışılan sistem hakkında detaylı moleküler genetik bilgiye sahip olmak gerekir.

#### 4.3. Bitki Gen Teknolojisindeki Hedefler

Bitkilerde uygulanan gen teknolojinin hedefleri mevcuda göre daha üstün özelliklere sahip bitkilerin geliştirilmesidir. Üzerinde durulan karakterler ve yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi ana başlıklar altında özetlenebilir.

##### 4.3.1. Zararlılara dayanıklılık

Böcekler, bir taraftan bitki dokularını yiyerek bitkilere mekanik zarar vermekte, diğer taraftan virüs, mantar ve bakteri gibi hastalık etmenlerinin bulaşmasına sebep olmaktadır. Böceklere dayanıklı bitkilerin elde edilmesinde, zararlı böceklere karşı kullanılan toksinler ve etki mekanizmaları kullanılmaktadır. *Bacillus thuringiensis*, belli böcekler için toksik olan, fakat diğer hayvanlar ve insanlara zarar vermeyen bir madde oluşturmaktadır. Bu özelliğinden yararlanarak farklı bitki türlerinde zararlı böceklere karşı dayanıklılık oluşturulabilmiştir (Çizelge 5).

Bütün böcekler için toksik olmayan Bt toksinlerine alternatif proteaz inhibitörlerinin aktarılmasında yatmaktadır. Bunlar arasında *Vigna. sinensis*'e ait bir tripsin inhibitör protein geni, patates ve domatesten yara ile oluşan proteaz inhibitör aileleri olan OI-I ve PI-II ve belli Serin-Proteinaz inhibitörleridir. Antimetabolik enzimler, örneğin böceklerin önemli sindirim enzimlerini (Kempken ve Kempken, 2004) engelleyerek normal böcek fizyolojisini etkilemektedirler (Dingermann, 1999). Diğer başka insektisit dayanıklılık geni olarak *Streptomyces* türlerinden bir Kolesterol-Oksidaz geni ve bezelyeden bir lektin geni izole edilebilmiştir. Lektinler böcek bağırsağında besin bileşiklerini

Çizelge 5. Zararlılara ve hastalıklara dayanıklı transgenik bitkiler

Transgenik Bitki	Özellik	Genteknolojik Değişiklik
Mısır	Mısır kurdu	CryIA (b) geninin <i>Bacillus thuringiensis</i> 'den aktarılması, PEPC promötörü
Pamuk, domates	pamuk kurdu, pembe kurt, yeşil kurt ve domates meyve kurdu	CryIA (b) geninin <i>Bacillus thuringiensis</i> 'den aktarılması
Patates	Patates Böceği	
Patates	Yaprak kıvrıcılık virüsü Patates virüsü (PVY)	Yaprak kıvrıcılık virüsünün ORF-1 ve ORF-2 bölgelerindeki DNA-kısımlarının ve PVY için kabuk proteinlerinin aktarılması
Şekerpancarı	Rhizomania virüsü, nekrotik sarı damar hastalığı (BNYV virüsü)	Virüsün belli kabuk veya taşıyıcı proteinini kodlayan genlerin aktarılması
Buğday	Sarı cücelik virüsü (BYD virüsü),	
Çeltik	Çeltik şerit virüsü, cücelik virüsü, FMV	
Patates	Mildiyö	<i>Aspergillus niger</i> 'den Glikoz-Oksidaz genin aktarılması, 35-S promötörü
Buğday	<i>Fusarium spp.</i> , <i>Septoria</i>	Bilinmiyor
Çeltik	<i>Rhizoctonia solani</i>	Chitinaz gni Ch11'in aktarılması
Patates	Yumuşak çürüklük	Pektatlyaz genlerinin aktarılması
Çeltik	Çeltikte bakteriyel leke	Xa21 geninin aktarılması

Kaynak: Menrad et al., 2003

bağlamakta ve normal sindirimi bozmaktadırlar. Böylece bu tip bir proteini içeren bitkiler böcek zararından korunmaktadırlar. Bu genlerin aktarılması ve transgenik bitkilerde çoklu dayanıklılık sisteminin geliştirilmesi ile zararlı böcek popülasyonlarında dayanıklılığın hızlı bir şekilde gelişmesi engellenmek veya uzatılmak istenmektedir (Hoffmann, 1997).

#### 4.3.2. Hastalıklara Dayanıklılık

Bitkiler patojen enfeksiyonunu sınırlamak için farklı teşvik edilebilen savunma mekanizmalarına sahiptirler. Bunlar arasında hücre duvarlarının ligninleşmesi, küçük antibiyotik moleküllerin üretilmesi, yaralanmış bölgedeki konukçu hücrelerin ölmesi ve reaktif oksijen türlerinin üretilmesi sayılabilir. Virüsler, bakteriler, mantarlar ve nematotlara karşı sistematik olarak edinilen dayanıklılık birçok sayıdaki dayanıklılık geninin beraber hareket etmesiyle ortaya çıkmaktadır (Melchers ve Stuiver, 2000).

Virüsler, mantarlar ve bakteriler özellikle meyveler ve sebzelerde büyük zararlar yaparlar. Virüsler, bir bitkiden diğer bitkiye bulaşmak için böcek gibi araçlara ihtiyaç duyduğundan bunlara karşı genel olarak dolaylı yollarla mücadele yapılmaktadır. Mantar ve bakterilerin bitkilere bulaşması olayında konukçu-patojen ilişkisinin ön plana çıkması nedeniyle dayanıklılığın gen teknolojisi kullanılarak aktarılması, böcek ve virüslere göre daha az başarılı olmuştur (Saedler, 2001).

#### 4.3.3. Herbisitlere Dayanıklılık

Tarımsal alanlarda yabancı otlar nedeniyle verimde oluşan kayıp dünya çapında % 10-15 olarak tahmin edilmektedir. Geniş alanlarda yapılan tarımda bu nedenle genelde yabancı ot kontrolü için herbisitler kullanılmaktadır. Seçici olarak etki eden herbisitler (Bromoksinil, Sulfonylharnstoffe), belli

morfolojik ve fizyolojik özelliklere sahip yabancı otları öldürmektedirler. Bazı seçici herbisitler uzun süre toprakta kalabildiklerinden taban suyuna karışmakta ve dayanıklı yabancı otların ortaya çıkması tehlikesini doğurmaktadır. Total herbisitler ise toprakta çabucak çözünmektedirler. Fakat bunlar hem yabancı otlar hem de kültür bitkileri için aynı derecede toksiktirler (Kempken ve Kempken, 2004).

Herbisitlere dayanıklı transgenik bitkiler, herbisitlerdeki etkin maddeyi inaktif hale getiren ve herbisit hücüm ettiği alanı herbisit zarar meydana getirmeyecek şekilde değiştiren proteinleri kodlayan dayanıklılık genlerine sahiptirler. Bu dayanıklılık genleri ya mikroorganizmalar ya da doğal olarak dayanıklı bitkilerden izole edilmektedir. Herbisitlere dayanıklı transgenik bitkiler ve dayanıklılık mekanizmaları Çizelge 6'ya verilmiştir.

#### 4.3.4. Strese Dayanıklılık

Çevreden kaynaklanan strese maruz kalan bitkiler kendilerini korumak için stratejiler geliştirirler. Sıcaklık, soğuk, su eksikliği, yüksek tuzluluk veya ağır metallere karşı yüksek toleransın bitkilere aktarılması bunların marjinal alanlarda yetiştirilmesini mümkün kılacaktır. Gen teknolojisi kullanılarak ekstrem koşullara toleranslı bitkilerin geliştirmek henüz başlangıç safhasındadır. Strese karşı daha yüksek bir tolerans, antioksidantların oluşumunu sağlayan enzimleri kodlayan genlerin aktive edilmesiyle sağlanmaktadır. *Nicotiana tabacum*'a Mangan- SOD geninin aktarılması ile ozon zararı 3-4 kat azaltılabilmektedir (Hoffmann, 1997).

Bitkilerin sıcaklık, tuzluluk veya soğuk stresi altında su düzeyinin dengede tutulmasında osmotik maddeler büyük öneme sahiptir. Osmolitik maddeler, suyu bağlayabilmekte ve proteinlerin yapılışının korunmasında su moleküllerinin yerini alabilmektedirler. Osmolitik maddeler çoğunlukla

Çizelge 6. Herbisitlere dayanıklı transgenik bitkiler

Transgenik Bitki	Herbisit	Dayanıklılığın Etki Mekanizması
Tütün, mısır, pamuk, kolza, soya, şekerpancarı, domates	Glifosfat	EPSP-Synthase enzimi için 35S-promotörü tarafından yönlendirilen genin ve Oksidoreduktaz için bir bakteriyel genin aktarılması herbisit nenden olduğu yoğun EPSP-Synthase üretimi ve aynı zamanda Oksidoreduktaz ile herbisit detoksifikasyonu ile dayanıklılık ortaya çıkmaktadır
Patates, tütün, mısır, yonca, kavun, kenevir, kavak, çeltik, soya, şekerpancarı, domates, kolza, buğday	Fosfonitricin	Bar geninin <i>S. hygroscopicus</i> 'den transfer edilmesiyle herbisidin asetilasyon ile detoksifikasyonu sağlanmaktadır.
Patates, tütün, pamuk, domates	Bromoxynil	Klebsiella ozaenae'den bxn geninin aktarılması herbisit detoksifikasyonunu sağlamaktadır
Patates, tütün, pamuk	2,4.D	<i>Alcaligenes eutrophus</i> 'den 2,4.D-Monooksijenaz geninin transferi herbisidin detoksifikasyonunu sağlamaktadır
Tütün	Atrazin	Dayanıklı bir yabani formdan psb-A geninin veya bir Gltathion-S-Transferaz geninin aktarılması herbisidin daha az etkili olmasını veya detoksifikasyonunu sağlamaktadır
Patates, tütün, pamuk, kenevir, kiwi, mısır, soya, şekerpancarı, domates	Sülfonil Üre Maddeleri	<i>N. tabacum</i> veya <i>A. thaliana</i> 'dan değiştirilmiş ALS genlerinin aktarılması herbisidin hedef enzimin olan ALS'ye olan afinitesini azaltmaktadır

Kaynak: Hoffmann, 1997

şeker ve amino asit döngüsünden oluşan düşük moleküler bileşiklerdir. Mannito-Hidrogenaz oluşumu için bir genin bitkiye aktarılmasıyla bir şeker alkolü olan mannitol birikmekte ve bu birçok bitkide kurağa karşı dayanıklılığı ortaya çıkarmaktadır (Anon., 2001; Kempken ve Kempken, 2004).

Soğuğa karşı toleransı artırmak için kloroplast membranlarının lipitler ile doyurulmasına katkıda bulunan genler uygundur.

Kloroplastların, tilakoid membranının oluşturulmasıyla ilgili yağ asitleri ne kadar fazla doymuşluk derecesine sahip ise soğuğa karşı hassasiyet ve buna bağlı olarak fotosentezin durdurulması azalmaktadır. Kabaktan, tütüne Gliserol-3-fosfat-Asiltransferaz oluşumu için cDNA'nın aktarılması buna örnek olarak verilebilir. (Moon ve ark., 1995). Model bitki *Arabidopsis thaliana*'da soğuğa karşı korunmada genlerin harekete geçirilmesinde anahtar rol oynama ihtimali olan bir düzenleyici gen (CBF1) izole edilmiştir (Sarhan ve Danyluk, 1998).

Tuza karşı dayanıklılığın artırılması için farklı stratejiler mevcuttur. Transgenik çeltikte örneğin Glutamin-Sintataz enziminin fazla ürettirilmesi ile tuza karşı tolerans artırılmıştır (Hoshida ve ark., 2000). *Athrobacter globiformis*'den *Arabidopsis*'e Cholinoksenaz geninin aktarılması bitkilerde Glisinbetainlerin birikimine ve böylece tuza karşı dayanıklılığın artmasına sebep olmuştur.

Bitkilerde ağır metallere karşı toleransı artıran genlerin aktarılması ile sadece kirlenmiş topraklarda bitkilerin iyi yetişmesi sağlanmaz.

Aynı zamanda aşırı kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi de sağlanmış olur. Bitkilere özel zehirlenmeyi ortadan kaldırma mekanizması ağır metallerin fitojelatinlere (örneğin organik asitlere) bağlanması ve bunların hücrelerin vakuollerinde biriktirilmesidir. Methalotionein genlerinin tütüne aktarılmasıyla bu bitkide Cadmiyuma karşı tolerans artırılmıştır (Hoffmann, 1997). *Liriodendron tulipifera*'ya civaya karşı dayanıklı bir bakteriden civa redüktaz geninin aktarılması ile toksik civa konsantrasyonlarına karşı tolerans elde edilmiştir (Kempken ve Kempken, 2004).

#### 4.3.5. Erkek Kısırlığı

Geniş alanlarda hibrit tohum üretmenin ön şartı, tohum elde edilecek bitkinin, kendini tozlamasını engelleyecek bir mekanizmaya sahip olmasıdır. Erkek kısırlık geninin, özel bir gene bağlanması ve bu genin bir hibrit dölle aktarılması ile % 100 steril döl elde edilebilir (Hoffmann, 1997). Her iki hattın birinin % 100 erkek kısır, diğerinin % 100 döllenebilmesi yanında F1 hibrit bitkilerin fertilitesi saf hatları muhafaza etmek için restore edilebilmelidir. En iyi karakterize edilen ve pratik olarak kullanımda olan sistem Barnase-Barstar sistemidir (Şekil 1). Barnase geni tapetuma has bir promotör TA29 ile birleştirilirse Barnase'nin oluşması ile tapetum hücrelerinin RNA'sı çözülür ve polen bozulur. Steril hattın Barnase inhibitörü olan Barstar'ı taşıyan bitkilerle melezlenmesi ile F1 generasyonunda fertil bitkiler elde edilmektedir. Bu sistem kolza, domates ve mısır gibi bitkilerde kullanılmaktadır (Kempken ve Kempken, 2004).

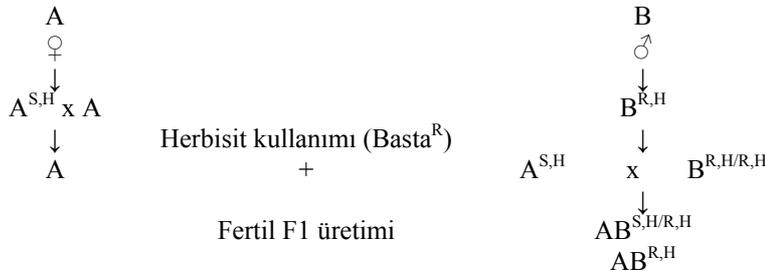
#### 4.3.6. Verim

Bitkilerde verimin oluşmasında fotosentez, solunum ve azot fiksasyonu önemli rol oynar. Fakat bu mekanizmalar oldukça karmaşık olup moleküler temelleri henüz tam anlaşılamamıştır. Örneğin "azot fiksasyonu" özelliğinin bitkilere aktarılabilmesi için bakterilerden bitkilere anahtar enzim olan Nitrogenazı kodlayan bir çok yapısal protein (nifH, D,K) geni aktarılmalı ve bunların etki şekli koordine edilmelidir.

Bakterilerde nodülasyon faktörlerinin etki alanının değiştirilmesi ile önemli kültür bitkilerinde nodülasyon sağlanmıştır (Hoffmann, 1997). *Chlorella sorokiniana* alg'inden izole edilen ve bitkilere aktarılan bir gen azotu değerlendirme oranını artırmaktadır (Woods, 1999). Çeltikte belli proteinlerin oluşumunu engelleyen ve dane olum dönemini uzatan bir geninin aktarılması ile verim artırılmıştır (Finkel, 1999).

#### 4.3.7. Kimyasal İçerik

Besin maddelerinin kalitesini değiştirmede kullanılan yöntemlerdeki amaç içerik maddelerini beslenme fizyolojisi açısından veya gıda fizyolojisi



Şekil 1. Barnase/barstar, transgenik hibrit sistemi (Leemans, 1992); S= tapetuma özel TA29 promotörünün kontrolü altındaki Barnase geni ile oluşturulan erkek kısırlık; R= Fertilitenin restore edilmesi; H= Bar geni ile BastaR herisidine karşı dayanıklılık

açısından daha uygun formlara dönüştürmek veya bitkilerde bulunmayan ya da az bulunanlara aktarmak veya zenginleştirmektir. Bu konuda yapılan bazı çalışmalar Çizelge 7’de verilmiştir.

Bitkilerdeki şeker ve nişasta metabolizmasının değiştirilmesinde, sadece bir nişasta formu (amiloza veya amilopektin) üzerinde durulmaktadır. (amiloza veya amilopektin) üzerinde durulmaktadır. Bu da Nişastanın gıda ve kimya sanayinde kullanımını kolaylaştırmaktadır. Bakteriyel bir genin aktarılması ile patatesteki Cyclodextrin üretilmektedir. Cyclodextrin gıda ve eczacılık sanayinde uçucu maddelerin veya aromatik bileşiklerin stabilizasyonu edilmesinde veya istenilmeyen maddelerin (acıklık, kolesterolün) uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır.

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde insan sağlığı açısından önemli olan vitaminler, mineral maddeler ve iz elementleri yeterince alınmamaktadır. Örneğin dünya nüfusunu besleyen bitkilerin başında gelen çeltik, çok az miktarda A vitamini içermektedir. Ayrıca tahılda bulunan Fitat nedeniyle demirin kullanımı etkilenmektedir. Bu nedenle  $\beta$ -karotin üreten ve daha fazla demir biriktiren ve kullanılabilirliğine sahip çeltik geliştirmek amaç olmuştur. Sonuçta Golden Rice adında bir çeltik elde edilmiştir (Ye ve ark., 2000).

Değiştirilmiş yağ asidi kompozisyonuna sahip bitkiler ticari olarak satılmaktadır. Beslenme fizyolojisine veya endüstriye uygunluk bakımından örneğin C10 ila C22 atomlarını içeren yağ asitlerine sahip kolza çeşitleri geliştirilmiştir (Wenzel ve Mohler, 2001). Yağ asitleri kompozisyonların değiştirilmesinde, geriye dönüş sebebiyle istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Yağ asitleri metabolizması ile ilgili belirlenen enzimler yanında serbest ve membrana bağlı olan yağ asitlerinin değişimini sınırlayan mekanizmalar vardır.

Bitkilerdeki protein kompozisyonunun değiştirilmesinde hedef amino asitlerdir. Özellikle Lisin birçok gıda maddesinde ve yem bitkisinde yeterli miktarda bulunmamaktadır. Birçok araştırmada hedef Lisin biyosentesinde rol oynayan bir enzimi bitkilere aktararak tanedeki Lisin oranının artırılmaktadır (Dingermann, 1999; Krebbers ve ark., 1999).

#### 4.3.7. Olgunlaşma

İlk yapılan transgenik değişikliklerin amacı ürünlerin dayanıklılık ve depolama süresini ve de tadını değiştirmek amacıyla olgunlaşma süresi üzerinde yoğunlaşmıştır. Olgunlaşma süresinin geciktirilmesi ile ilgili başlangıç noktası bitkilerdeki etilen oranının düşürülmesidir. Bu da doğal enzim proteininin oluşumunu engelleyen domates kökenli Aminositiklopropan-Karboksilat-Syntaz27 (ACC) geni ile başarılmıştır. Alternatif olarak ACC-Deaminaz enzimi oluşumu için bitkilere bakteriyel bir gen aktarılabilir ki bu etilen oluşturan enzim ile ACC maddesi için reka-bete girer ve ACC’yi  $\alpha$ -Ketobutyrate dönüştürür.

Olgunlaşma süresi ile ilgili diğer bir yol Polygalakturonaz enziminin engellenmesidir. Bu enzim Pektinin ana unsuru olan Polygalakturonik asidi parçalamakta ve bu sayede meyvelerin yumuşaması gecikmektedir. Polygalakturonaz oluşumunu kontrol eden bir geninin domatese aktarılması ile ABD’de ilk kez gen teknolojisi kullanılarak değiştirilen bir gıda ürünü Flavr Savr R domatesi tescil edilmiştir (Dingermann, 1999).

#### 4.3.8. Zehirli ve Alerjik Maddeler

Bitkilere, kaliteyi etkilemesi yanında içerik maddelerinin hazmını veya kullanılabilirliğini sınırlayan, toksik etki gösteren veya bazı

Çizelge 7. Bitkilerde gen transferi ile ürün kalitesinde meydana getirilen değişiklikler

Bitki	Kimyasal İçerik Maddesi	Kullanılan Genlerin Kaynağı
Kolza, soya fasulyesi, mısır	Lisin, Methionin, Triptofan gibi amino asitlerin miktarının artırılması	Lisin ve Triptofanını üretimini artıran bakteriyel kökenli genler
Patates, Cassava	Toplam protein miktarının artırılması	Alerjik etkiye sahip olmayan bir Albümin geninin aktarılması, tohumlardaki ekspresyonu
Kolza	Yağ asidi zincirlerinin kısaltılması, Laurin asit oranının artırılması	<i>Umbellularia californica</i> ’dan Asetil-ACP-Tioesteraz spesifik genin aktarılması
Soya fasulyesi, kolza, ayçiçeği	Yağ asidi içeriğinin değiştirilmesi, doymamış yağ asitlerinin artırılması	<i>FAD 3</i> ve <i>FAD 2</i> geninin klonlanması.
Patates	Amilaz veya amilopektin içermeyen nişasta veya sakaroz birikimi	Bitkilere özel enzimlerin (örn. GBSS, Q enzimi, AGPaz) kazandırılması
Patates	Siklodekstrin ekspresyonu	<i>Klebsiella pneumoniae</i> ’den CTG geninin aktarılması
Patates	Nişasta oranının artırılması	Mutasyona uğrayan AGPaz geninin <i>E. coli</i> ’den aktarılması
Çeltik	$\beta$ karotenin üretilmesi	<i>Narcissus</i> türleri veya <i>E. uredoavora</i> ’dan Terpenoid metabolizmasının anahtar enzimlerini kodlayan genlerin aktarılması
Çeltik	Demir içeriğinin artırılması ve kullanılabilirliğinin azaltılması	<i>Phaseolus vulgaris</i> ’ten bir demir geninin aktarılması, <i>A. fumigatus</i> ’tan bir Phytase geninin aktarılması
Domates	Lycopin ve Lutein gibi karotinoidlerin oranının artırılması	Phytoenin, lycopine dönüştürülmesi için bir bakteriyel genin aktarılması

Hoffman, 1997

insanlarda tüketildiğinde alerjik reaksiyonlara sebep olan bir dizi madde bulunmaktadır. Gen teknolojisi kullanılarak bu tip maddelerin oranının azaltılması veya daha az toksik veya alerjik etki yapan formlara dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Zehirli maddeler arasında tahıllar ve sebzelerde bulunan demir gibi önemli mineral maddelerin alımını engelleyen fitin asit bileşikleri (Fitat) vardır. Fitaz enziminin ilave edilmesiyle tohumdaki fitin asit oranı çeltikte olduğu gibi azaltılabilmektedir. Glikoalkaloidler patates ve domateste bulunan toksik maddelerdir. Patateste Glikoalkaloidi Alpha-Chaconin bakımından anahtar enzim olan UDP-Glukoz-Glucosiltransferazın etkisi bir genin aktarılması ile durdurulabilmiştir (Anon., 2001). Bilinen allergenlerin birçoğu protein yapısında olup, tahıllardaki Gluten28, soya, yer fıstığı ve cevizden elde edilen proteinlerdir. Antisens RNA teknolojisi sayesinde çeltikte alerjik etki yapan proteinin oranı azaltılabilmektedir (Kempken ve Kempken, 2004).

#### 4.3.9. Yenilenebilir Ürünler

Gen teknolojisinin diğer bir kullanım alanı da endüstriyel proteinler, yağlar, karbonhidratlar ve yenilenebilir sentetik maddelerin üretilmesidir. Transgenik bitkiler yüksek aktivite gösteren protein ve kompleks bileşiklerini üretmek için uygun organizmalardır. Transgenik bitkilerden protein üretimi ile ilgili çalışmalar çok yönlü olup, gıda maddesi sanayinde enzimlerin kullanılması yanında eczacılıkta etkili olan çok sayıda etken maddeyi de kapsamaktadır.

Bitkisel ve organik yağlar önemli endüstriyel hammaddelerdir. Bitkisel yağlar, fosil yakıtlara kıyasla yüksek olan maliyetleri nedeniyle endüstriyel

kullanım için ikinci derecede öneme sahiptirler. Endüstriyel yağlarda aranan özellikler dikkate alınarak kolza yağ asidi kompozisyonu asidi kompozisyonuna sahip kolza çeşitleri geliştirilmiştir (Çizelge 8).

Bitkilerde karbonhidrat üretimi, nişasta sanayinde yıllardan beri kullanılan bir tekniktir. Endüstri bakımından yapıştırıcı ya da folyo yapımında kullanılan değiştirilmiş nişasta, kağıt ürünleri üretiminde hammadde olarak kullanılan

Bitkilerde karbonhidrat üretimi, nişasta sanayinde yıllardan beri kullanılan bir tekniktir. Endüstri bakımından yapıştırıcı ya da folyo yapımında kullanılan değiştirilmiş nişasta, kağıt ürünleri üretiminde hammadde olarak kullanılan selüloz, jel ve kabartıcı olarak kullanılan pektinler öneme sahiptirler (Çizelge 8). Bugüne kadar endüstriyel olarak elde edilen nişastanın % 80'ni kimyasal veya fiziksel işlemlere tabi tutulmaktadır. Karbonhidrat metabolizmasında yapılacak değişiklikler, bu oranı belirgin derecede düşürebilir (Willmitzer, 1999).

Birçok bakteri alifatik polyester (PHB) üretiminde kullanılmaktadır. Toksik olmayan bu tür ürünlere şekil verilebilir. Ayrıca bu tür ürünler biyolojik olarak da ayrıştırılabilir. Bu özelliğinden dolayı bu ürünler kısaca "Biyoplastik" olarak adlandırılırlar. Bitkilerde bu tür ürünlerin üretimini kodlayan üç gen (*phbA*, *phbB*, *phbC*), *R. eutropha* adlı bakteriden izole edilmiş ve *Arabidopsis thaliana*'ya aktarılmıştır. Bakteriyel fermantasyon sonucu elde edilen ve BiotopolTM adı altında piyasaya sürülen Polihidroksibütrat Ko-Polimeri (PHB/V), PHB'ye göre endüstriyel kullanım açısından daha uygun özelliklere sahiptir.

Çizelge 8. Endüstriyel amaçlarla bitkilerde gen teknolojisi kullanılarak yapılan değişiklikler

Bitkiler	İçerik Maddesi	Kullanılan Genlerin Kaynağı	Kullanım Alanı
Tütün, yonca	$\alpha$ -amilaz, Fitaz, Xylanaz gibi enzimlerin ekspresyonu	<i>B. licheniformis</i> ( $\alpha$ -amilaz), <i>A. niger</i> (Fitaz), <i>C. thermocellum</i> (Xylanaz) genleri	Gıda sanayi
Kolza	Yağ asitlerinin doymamış hale getirilmesi	Bitkiye has genlerin veya petroselinik asitin ekspresyonu için Umbelliferalardan genlerin antisens represyonu	Polimer üretimi, deterjan
Kolza	Yağ asidi zincirlerinin uzatılması	<i>L. douglasii</i> 'den LPAAT geninin aktarılması (erusak asit oranının artırılması)	Çözücü maddeler, yumuşatıcılar vs.
Kolza	Yağ asidi içeriğinin değiştirilmesi (Laurik asit oranının artırılması)	<i>U. californica</i> 'dan bir özel Acety-ACP-Tioestraz için gen aktarımı	Temizlik maddesi
Patates	Amiloz veya amilopektin içermeyen nişasta veya sakaroz birikimi	Bitkilerin kendi enzimlerinin (GBSS, Q enzimi, ABPase) Antisens-Represyonu	Yapıştırıcı, kağıt (amilopektin), folyo (amiloz)
Patates	Fruktan	<i>K.pneumoniae</i> 'den CTG geninin aktarılması	
<i>A. thaliana</i> , kolza, soya	PHB üretimi	<i>R. eutropha</i> 'dan 3-Ketotiyolaz, Asetoasetil-CoA Reduktaz, PHA-Syntaz enzimleri için gen aktarımı	Biyolojik olarak ayrışabilen polimer
<i>A. thaliana</i> , kolza	PHB/V üretimi	<i>E. coli</i> ve <i>R. Eutropha</i> 'dan 4 genin ( <i>ilvA466</i> , <i>BktB</i> , <i>phbB</i> , <i>phbC</i> ) aktarılması	Biyolojik olarak ayrışabilen polimer

Hoffmann, 1997

Dört genin (ilvA466, BktB, phbB, phbC) Arabidopsis ve kolzaya aktarılması ile yağ ve amino asit biyosentezindeki ara ürünler, PHB/V biyosentezine yönlendirilmektedir (Elborough, 2000).

#### 4.3.10. Sekonder Metabolitlerin Üretimi

Bitkiler ana içerik maddeleri (karbonhidratlar, proteinler ve lipitler) yanında sekonder içerik maddelerine de sahiptirler. Bu tür içerik maddeleri sekonder metabolit olarak adlandırılmaktadır. Farmakolojik etkilerinden dolayı bazı sekonder metabolitler bitkisel ilaçlarda hammadde olarak kullanılmaktadır.

Sekonder metabolitler kısmen sentetik olarak elde edilemezler ve bitkilerden ekstrakte edilmeleri gerekmektedir. Biyosentez yollarının anlaşılması ve önemli genlerin tespiti ile sekonder metabolitleri değiştirme ve onların bitkideki oranlarını artırma mümkün hale gelmiştir (Hoffmann, 1997).

Gen teknolojisi sayesinde ilaçların etken maddelerinin teşhis ve tedavi amacıyla kullanımı mümkün olabilmektedir. Örneğin serum ve aşılarda bitkilerde üretilmiştir. Bu ürünler tıpta (teşhis, tedavide, yenilebilir aşı maddeleri), kimya ve ilaç endüstrisinde (katalitik antikor, biyosensörler) ve tarımda (hastalık ve zararlılara dayanıklılık, gıda ve yem kalitesinin artırılması) kullanılmaktadır. Aşılarda, hem pasif hem de aktif bağışıklık kazandırmaya uygun olup, organ nakli sonrası tedavide de kullanılabilirlerdir.

Bugüne kadar geleneksel yolla yeterli miktarda üretilmeyen ilaç ham maddelerinin bitkiler vasıtasıyla üretimi, bir alternatif yöntem olarak kullanılmaktadır. Kompleks proteinlerin sentetik olarak üretilmesi zor olmasına karşılık bitkiler vasıtasıyla proteinlerin üretilmesi daha kolaydır. Transgenik bitkilerden elde edilen proteinlerin depolanma özelliği, diğerlerine göre daha yüksektir. Geleneksel yolla yetiştirilen patates yumrusunda, normal depolama koşullarında iki yılda en az % 50 kadar aktivite kaybı tespit edilmiştir.

Transgenik bitkilerde üretilen aşılarda, hayvansal sistemlerdeki üretime göre patojenlerle (örneğin AIDS veya Hepatit virüsleri, BSE ve toksinler) bulaşma tehlikesi daha azdır. Ayrıca ağızdan uygulanabilen aşılarda üretim maliyeti daha düşüktür. Zira aşılarda bitki besinleri ile beraber alınabilmekte ve maddelerin izolasyonu ve temizlenmesine gerek kalmamaktadır. Ayrıca diğer bir avantajı da farmakolojik maddelerin doğrudan mevcut tarımsal üretim sürecine entegre edilebilmesidir (Düring, 2001).

Bitkisel ürünlerin izole edilmesi ve işlenmesinde kullanılan teknikler oldukça gelişmiştir. Örneğin patates endüstrisinde ve biracılıkta bu yönde çeşitli deneyimler mevcut olup, bu yolla ürünler en saf haliyle elde edilebilmektedir. Proteinlerin temizlenmesinin gerektiği durumlarda ticari kullanımda toplam % 1 oranında çözülebilir protein bulunması gerekmektedir (Kusnadi ve ark., 1997).

Transgenik bitkilerde ticari olarak üretilen ilk protein tavuktaki viridin proteini olup, bu transgenik mısır bitkisinde üretilmekte ve teşhis amacıyla kullanılmaktadır. Transgenik bitkilerde üretilen ilaç etken maddelerin üretimi ile ilgili bazı örnekler Çizelge 9'da verilmiştir.

#### 4.3.11. Ornamental Bitkiler

Ornamental bitkilerinde, klasik ıslah yöntemleri ile bugüne kadar elde edilmesi mümkün olmayan yeni renk ve formlar gen teknolojisi ile elde edilebilmiştir. Petunyalardan ilgili genlerin aktarılması ile beyaz karanfilden mavi çiçekli bir form elde edilmiştir. Çiçek rengi flavinoidler (sarı, kırmızı, kızıl pembe, mavi), karatinoidler (sarı/portakal rengi) ve betalainler (sarı/kırmızı) tarafından belirlenmektedir.

Flavanoidlerdeki farklı renk varyasyonundan antosiyanlar sorumludur ki bugüne kadar yüzlerce antosiyan, bitkilerden izole edilerek kimyasal yapıları belirlenmiştir. Flavonoid sentezinin moleküler temellerinin açığa kavuşturulması çiçek renginin gen teknolojisi ile değiştirilmesini mümkün kılmaktadır. Çizelge 10'da çiçek rengi değiştirilen transgenik bitkiler ait bazı örnekler verilmiştir.

Çiçek rengi yanında çiçek şekli de ıslah çalışmalarıyla yönlendirilebilmiştir. Aslan ağzı (*Antirrhinum majus*) ve *Arabidopsis thaliana*'da yapılan araştırmalar sonucu çiçek şeklinin oluşumuna etki eden birçok gen saptanmıştır. Araştırmalar sonucu çiçek yapraklarının (çanak, taç, çiçek ve meyve yaprakları) bir veya birkaç genin kontrolünde olduğu ve üç fonksiyonel alan tarafından belirlendiği yönünde kanaat oluşmuştur. Ancak günümüze kadar çiçek formu değiştirilmiş transgenik süs bitkisi geliştirilmemiştir.

Ornamental bitkilerde diğer çalışma alanları; etilen sentezini etkileyerek aynı olgunlaşma süresine sahip olan formlar geliştirmek, çiçeklerin ömrünü uzatmak, güllerde mantar hastalıklarına karşı dayanıklılığı artırmak ve uygun bir transfer sistemi ile süs bitkilerinde strese karşı dayanıklılığı artırmaktır.

#### 4.3.12. Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesi

Ağır metaller ve zararlı maddeler ile kirlenmiş toprakların temizlenmesinde, yabancı ve kültür bitkilerinin toprak üstü organlarında bu tür zararlı maddeleri biriktirme özelliğinden faydalanılmaktadır. Yüksek oranda ağır metaller ve zararlı maddeleri biriktirme özelliğine sahip bitkiler Çizelge 11'de verilmiştir.

Gen teknolojisi ile bir taraftan kültür bitkilerinin zararlı maddelere karşı toleransı artırılmaya çalışılmakta, diğer taraftan zararlı maddeleri ayrıştırıcı bitkiler üzerinde ıslah çalışmaları yapılmaktadır. Buna örnek olarak patlayıcı maddeler ile kirlenmiş topraklardan TNT'yi temizleyen transgenik tütün verilebilir. Temizleme olayı; tütün bitkisine aktarılan bir bakteriyel ezim (Pentathritol- Tetranitratreduktaz)

Çizelge 9. Transgenik bitkilerde ilaç etken maddelerinin üretilmesine ilişkin örnekler

Ürün	Kullanım	Oran	Aracı Bitki
İnsan serum albumini	Kan proteini	% 0,02 GLP <sup>1</sup>	Patates, tütün
İnsan hemoglobini $\alpha, \beta$	Kan yedek maddesi, acil durum ilacı	% 0,05 tohum	Tütün
İnsan $\alpha$ -1-antitripsini	Cistik fibroz, karaciğer hastalıkları	Bilinmiyor	Çeltik
İnsan enkafalini	Acıların tedavisinde nörotransmitterler	% 0,10 tohum	Arabidopsis
İnsan hirudini	Trombin engellenmesi	% 0,3 tohum	Kanola
İnsan somatotropini	Cücelik, Tuner sendromu	% 7 GLP <sup>1</sup>	Tütün
Glukoserebrosidaz	Glukoserebrosid lipidozudur	%1,0-10,00 GLP	Tütün
pEGF	Domuzda epidermal büyüme faktörü (pEGF)	% 0,12 GLP	Tütün
İnsan Laktoferrini	Demir miktarının artırılması	% 0,10 GLP	Patates, domates, çeltik
Kolera Toksin B	Kolera ( <i>V. cholerae</i> )	% 0,30 GLP	Patates (Agrobacterium)
Hepatit B-yüzey antijeni	Hepatit B (Hepatit B virüsü)	<%0,01 FG <sup>2</sup>	Tütün, patates, acı bakla (Agrobacterium)
Norwalk virüsü Kapsid proteini	Diarrhöe (Norwalk virüsü)	% 0,37 GLP % 0,23 GLP	Patates Tütün (Agrobacterium)
Glikoprotein	Kuduz (Rabies virüsü)	% 1,00 GLP	Domates, tütün, ıspanak (TMV, AIMV)
Glikoprotein B	Zitomegalie hastalığı	<% 0,02 GLP	Tütün (Agrobacterium)
VP 1 FMDV	Deli dana hastalığı (FMD virüsü)	Bilinmiyor	Yonca, Arabidopsis (Agrobacterium)
Glikoprotein S	Domuz yavrusunda Diarrhöe	<%0,01 FG % 0,20 GLP	Mısır (Agrobacterium), tütün
VP 60 HDV	Tavşanlarda Hemorrhagik ateş (HDV)	% 0,30 GLP	Patates (Agrobacterium)
Guyın 13 MAK'sı, sekrete edilmiş	Diş çürüklüğü (Streptococcus mutans)	500 $\mu$ g/g FG yaprakta	Tütün (Agrobacterium)
	Herpes simplex (Herpes simplex virüs 1 ve 2)	Bilinmiyor	Mısır, soya
Kimerik antibodiler	Kanser tedavisi (karzinoembriyogenik antigen)	Bilinmiyor	Çeltik
İnsan scFV'si	Kanser tedavisi (karzinoembriyogenik antigen)	30 $\mu$ g/g FG	Çeltik, buğday

<sup>1</sup> GLP = toplam çözünebilir protein; <sup>2</sup> FG = Taze ağırlık

Daniell ve ark., 2001; De Kathen, 2001

sayesinde gerçekleşmektedir. Diğer bir örnek manolya'ya cıvaya dayanıklı bakterilerden aktarılan bir gen sayesinde iyonize cıva, daha az tehlikeli olan metalik cıvaya dönüştürebilmektedir (Kempken ve Kempken, 2004). Diğer bir örnek renk değişimi sayesinde mayın temizliğinde kullanılan bitkidir.

Çizelge 10. Çiçek renkleri değiştirilmiş bitkiler

Bitki	Normal Renk	Yeni Renk	Yapılan Değişiklik
Krizantem	Pembe	Beyaz	Chalkonsynthase
Gerbera	Kırmızı	Pembe	Chalkonsynthase
Karanfil	Pembe	Pembe	Chalkonsynthase
	Beyaz	Mavi	Flavonon-3',5'-hidroksilaz
Petunya	kırmızı	Beyaz	Flavonon-3',5'-hidroksilaz
	Menekşe	Beyaz	Antisens-Chalkonsynthase
	Beyaz	Balık kırmızısı	Dihidroflavanol-4-reduktaz

Kempken ve Kempken, 2004

Çizelge 11. Ağır metalleri biriktirme özelliğine sahip bazı bitkiler

Ağır Metal	Bitkiler
Arsenik	<i>Reynoutria sachaliensis</i> , <i>Clamydomonas</i> sp.
Kurşun	<i>Alyssum murale</i> , <i>Clamydomonas</i> sp., <i>Salix viminalis</i> , <i>Thlasi caerulescens</i>
Kadmiyum	<i>Nicotiana tabacum</i>
Kobalt ve bakır	Lamiacea, Scrophulariaceae
Nikel	Brassicaceae ( <i>Alyssum</i> , <i>Thlasi</i> ), Euphorbiaceae ( <i>Phyllanthus</i> , Leucocroton), Asteraceae ( <i>Senecio</i> , <i>Pentacalia</i> )
Selenyum	Leguminoseae
Çinko	<i>Thlasi caerulescens</i> , <i>Alyssum murale</i> , <i>Salix viminalis</i> , <i>Clamydomonas</i> sp.

Herrchen ve Kördel, 2001

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarımsal alanda gıda üretiminde eskiden beri bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalardan yararlanılmaktadır. Gen teknolojisi ile birlikte bu biyolojik sistemleri insanların ihtiyacına göre daha iyi uyarlayabilmek için kullanılabilecek yöntem yelpazesi oldukça genişlemiştir. Özellikle gen teknolojisi kullanımından beklenen; a) verimi artıran, b) ürünün kalitesini yükselten, c) çevreyi ve doğal kaynakları koruyan ve d) ucuz üretim şekillerini ortaya koyacak yeni metot, ürün ve hizmetlerin ortaya çıkarılmasıdır (Menrad ve ark., 2004). Dolayısıyla ekonomik, sosyal ve ekolojik bakımdan gen teknolojisine büyük ümitler bağlanmaktadır. Artan dünya nüfusunun gıda gereksiniminin karşılanmasının garanti altına alınmasında, yüksek kaliteli, güvenilir ve sağlığı koruyan gıda maddelerinin hazırlanmasında, çevre ve kaynakları koruyan bir üretim sisteminin geliştirilmesinde ve ülke ve beslenme ekonomisinde rekabet ortamının muhafazasında gen teknolojisine büyük değer verilmektedir.

Gen teknolojisi ile üretilen tarım ürünleri, gıdalar ve organizmalar ile ilgili tartışmalar halen devam etmektedir. Özellikle son yıllarda ülkemiz dahil birçok ülkede popüler hale gelen organik tarım çalışmaları ile söz konusu teknolojinin kullanılması birbiri ile oldukça çelişen iki konu gibi takdim edilmektedir. Ancak, dünyanın içinde bulunduğu sosyo-ekonomik durum göz önüne alınırsa, genetik mühendisliğinin global tarım ve gıda ürünlerinin artırılması için kullanılması, günümüzde olmasa bile gelecekte zorunlu görülmektedir. Ancak güvenli olduğu iddia edilen birçok genetik yapısı değiştirilmiş ürünlerin satışı ve pazarlanmasında, mutlaka uyarıcı etiket bilgilerinin bulundurulması, tüketicilerin bilgilendirme ve seçme hakkının korunması bakımından önemlidir. Genetik Yapısı Değiştirilmiş Organizmalar için Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan yönetmeliğin uygulanabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Elde edilen ürünler titizlikle takip edilerek, bağımsız kuruluşlarca test edilmesi gerekir.

Sonuç olarak; tarımda, hayvancılıkta ve mikroorganizmalarla bunlarla bağlantılı olarak da en çok gıda üretiminde potansiyel riskleri olmasına karşın, birçok avantaj sağlayan genetik modifikasyon teknolojisi ile ilgili daha kapsamlı, tarafsız, kaliteli ve uygulamalı çalışmaların yapılması ihtiyacı her geçen gün artmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

Anonymus, 2001. Harvest on the Horizon. Future Issues of the Agricultural Biotechnology. In: <http://pewagbiotech.org/research/harvest/725k.pdf>  
 Brandt, P., 1995. Transgene Pflanzen. Herstellung, Anwendung, Risiken und Richtlinien. Birkhauser. ISBN 3-7643-5202-7  
 Daele, W., 1987. Kritische Vierteljahresschrift für Gesetzgebung und Rechtswissenschaft. 2: 351-366.

Daniell, H., Streatfield, S.J., Wycoff, K., 2001. Medical molecular farming: production of antibodies, biopharmaceuticals and edible vaccines in plants. *Trends in Plant Science* 6 (5): 219-226.  
 De Kathen, A., 2001. Gene-farming: Stand der Wissenschaft, mögliche Risiken und Management-Strategien. Gutachten zu spezifische Risiken des Gene-Farming in Pflanzen. Berlin: Umweltbundesamt, texte Nr. 15/01.  
 Dingermann, T., 1999. Gentechnik, Biotechnik. Lehrbuch und Kompendium für Studium und Praxis. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft GmbH.  
 Düring, K., 2001. Lifescience. <http://www.lifescience.de/technologien/03/10.htm>  
 Elborough, K., 2000. Gen Plastic. Information Systems for Biotechnology. <http://www.isb.vt.edu/news/2000/oct00.pdf>  
 Finkel, E., 1999. Australian Center Develops Tools for the Developing World. *Science* 285: 1481-1482.  
 Gasser, C. S. ve R. T. Fraley., 1992. *Scientific American*. 266: 62-69.  
 Herrchen, M., Kördel, W., 2001. Phytoremediation – Möglichkeiten, Kenntnislücken und Forschungsbedarf im Hinblick auf einen Praxiseinsatz. Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Fachgespraches am 29./30. November 1999 im Fraunhofer-Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie, Schmallenberg. Berlin: Umweltbundesamt (Hrsg.), Texte Nr. 19/01.  
 Hoffmann, T., 1997. Gentransfer bei Höheren Pflanzen. In: *Biologische Grundlagen der Pflanzenzüchtung*. (Werner Odenbach, Hrsg.). Parey Verlag.  
 Hoshida, H., Tanaka, Y., Hibino, T., Hayashi, Y., Tanaka, A., Takabe, T. ve T. A. Takabe., 2000. Enhanced Tolerance to Salt Stress in Transgenic Rice that Overexpresses Chloroplast Glutamine Synthetase. In: *Plant Molecular Biology* 43: 103-111.  
 Ibelgauts, H., 1993. *Gentechnologie von A-Z*. Studienausgabe. VCH Verlag.  
 James, C. 2004. Preview: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2004. ISAAA Briefs No. 32. ISAAA: Ithaca, NY. Kempken, F. ve R.  
 Kempken., 2004. *Gentechnik bei Pflanzen*. 2. Auflage. Berlin: Springer Verlag.  
 Krebbers, E., Falco, S. ve G. Fader., 1999. Modification of Seed Amino Acid and Protein Composition for Feed and Food Application. In: *Plant Biotechnology and Food for the 21st Century*. Nov.3/4, S. 10.  
 Kusnadi, A.R., Nikolov, Z. L. ve J. A. Howard., 1997. Production of Recombinant Proteins in Transgenic Plants: Practical Considerations; *Biotechnology and Bioengineering*. 56: 473-84, 1997.  
 Leemans, J., 1992. Genetic Engineering for Fertility Control. In: Dattee, Y., Dumas, C. And gallias, A., *Reproductive Biology and Plant Breeding*. 101-106. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.  
 Melchers, L. S. ve M. H. Stuiver., 2000. Novel Genes for Diseases Resistance Breeding. In: *Current Opinion in Plant Biology* 3, S. 147-152.  
 Menrad, K., Gaiser, S., Hüsing, B. ve M. Menrad., 2003. *Gentechnik in der Landwirtschaft, Pflanzenzüchtung und Lebensmittelproduktion*. TECHNİK, WIRTSCHAFT und POLITIK. Physica Verlag. ISSN 1431-9659  
 Moon, B. Y., Higashi, S. I., Gombos, Z. ve N. Murata., 1995. Unsaturation of the Membran Lipids of Chloroplasts Stabilizes the Photosynthetic Machinery Against Low Temperature Photoinhibition in Transgenic Tobacco Plants. In: *Proceedings of the*

- National Academy of Sciences of the United States of America 92: 6219-6223.
- Nicholl, D. S. T., 1995. Gentechnische Methoden. Spektrum.
- Öktem, H. A., 2001. Böceklerle Dayanıklı Transgenik Bitkilerin Geliştirilmesi. Bitki Biyoteknolojisi : Genetik Mühendisliği ve Uygulamaları. Bölüm 18. Selçuk Üniversitesi Vakfı Yayınları.
- Robert-Koch-Institut (RKI), 2001. Freisetzen und Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Organismen.  
<http://www.rki.de/GENTEC/FREISETZUNGZEN/FRZEISETZ.HTM>
- Saedler, H., 2001. Gentechnik in der Pflanzenzüchtung – was ist heute machbar? In: [http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d01\\_2/hsaedl01.htm](http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d01_2/hsaedl01.htm)
- Sarhan, F. ve J. Danyluk., 2000. Risikoabschaetzung und Nachzulassung-Monitoring Transgener Pflanzen. Sachstandsbericht. TAB-Arbeitsbericht Nr. 68. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschaetzung beim Deutschen Bundestag.
- Wenzel, G. ve V. Mohler., 2001. Innovationen in der Pflanzenbiotechnologie. Euro-Biotech 2001: 108-111.
- Willmitzer, L., 1999. Plant Biotechnology: Output Traits. The Second Generation of Plant Biotechnology Products is Gaining Momentum. Current Opinion in Biotechnology 10. 161-162
- Woods, C., 1999. UF Biotech Breakthrough: Alga Gene Boosts Crop Yields. <http://www.napa.ufl.edu/99news/alga.htm>
- Ye, X., Al-Babili, S., Klöti, A., Zhang, J., Lucca, P., Beyer, P. ve I. Potrykus., 2000. Engineering Provitamin A (b-carotene) Biosynthetic Pathway Into (carotenoid-free) Rice Endosperm. Science, 287: 303-305.